

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-3-401-47-51
УДК 532.582.5+629.5.035.5

В.В. Багринцев, Н.В. Маринич , А.А. Коваль 
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ВЛИЯНИЕ КРЫЛЬЧАТОГО ОБТЕКАТЕЛЯ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ, КАВИТАЦИОННЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Объект и цель научной работы. В работе исследуется влияние крыльчатого обтекателя на гидродинамические, кавитационные и акустические характеристики движительного комплекса, представляющего собой гребной винт в насадке.

Материалы и методы. В ходе выполнения работы спроектировано два варианта крыльчатого обтекателя (КО) с учетом поля скоростей за гребным винтом. Проведены экспериментальные исследования модели движительного комплекса с моделями гладкого обтекателя и спроектированными КО. Дополнительно исследовалось влияние положения лопастей обтекателя относительно лопастей гребного винта (между лопастей и в следе за лопастями).



Основные результаты. В ходе работы получены коэффициенты упора и момента, числа кавитации, измерено акустическое излучение для исследуемых компоновок движительного комплекса.

Заключение. Выполнено сравнение и сделаны выводы об эффективности применения крыльчатых обтекателей.

Ключевые слова: крыльчатый обтекатель, гребной винт, поле скорости, кавитация, акустические характеристики, гидродинамические характеристики.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-3-401-47-51
UDC 532.582.5+629.5.035.5

V.V. Bagrintsev, N.V. Marinich , A.A. Koval 
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

EFFECT OF VANE HUB CAP ON HYDRODYNAMIC, CAVITATION AND ACOUSTIC PERFORMANCE OF PROPULSION SYSTEM

Object and purpose of research. Effects of the vane hub cap are investigated regarding hydrodynamic, cavitation and acoustic performance of a ducted propeller as propulsion system.

Materials and methods. In the work process two versions of the vane hub cap have been designed to take account of the wake field behind propeller. Experimental investigations of the propulsion system model with a smooth hub cap and designed hub cap are given. Additionally, positions of hub cap vanes with respect to propeller blades (in-between the blades or in wake of the blades) were studied.

Main results. The thrust and torque coefficients as well as cavitation numbers were obtained, and the acoustic radiation was measured for the investigated propulsion system arrangements.

Conclusion. Comparisons were made and conclusions drawn regarding the efficiency of vane hub cap application.

Keywords: vane hub cap, propeller, velocity field, cavitation, acoustic characteristics, hydrodynamic characteristics.

The authors declare no conflicts of interest.

Для цитирования: Багринцев В.В., Маринич Н.В., Коваль А.А. Влияние крыльчатого обтекателя на гидродинамические, кавитационные и акустические характеристики движительного комплекса. Труды Крыловского государственного научного центра. 2022; 3(401): 47–51.

For citations: Bagrintsev V.V., Marinich N.V., Koval A.A. Effect of vane hub cap on hydrodynamic, cavitation and acoustic performance of propulsion system. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2022; 3(401): 47–51 (in Russian).

Введение

Introduction

Исследования двухступенчатых лопастных систем и их применение начались в прошлом столетии. Использование указанных систем обеспечивает увеличение пропульсивного коэффициента [1, 2]. Такая система может состоять из гребного винта (ГВ) с неподвижным контрпропеллером, ГВ с подвижным контрпропеллером, также сюда стоит отнести комбинации из двух винтов противоположного вращения.

За прошедшее время доказана гидродинамическая эффективность подобных движителей [1, 2]. Положительный эффект от установки контрпропеллера дополнительно увеличивается из-за устранения на обтекателе гидродинамической силы, снижающей упор [1, 4]. Однако величина эффективности такого движителя во многом зависит от того, насколько оптимально с точки зрения ко-

эффициента полезного действия (КПД) спроектирован ГВ.

В данной работе исследуется эффективность применения двухступенчатой лопастной системы, состоящей из ГВ в насадке с подвижным контрпропеллером (рис. 1, см. вклейку). Поскольку контрпропеллер проектируется с обтекателем в качестве ступицы, в дальнейшем назовем его крыльчатый обтекатель (КО).

Описать принцип работы крыльчатого обтекателя можно следующим образом: это устройство, утилизирующее энергию осевого вихря, который является одним из составляющих вихревой системы, образующейся за ГВ при его работе. Частота вращения КО совпадает с частотой вращения ГВ. Работа КО может быть направлена с одной стороны на увеличение упора движительного комплекса (ДК), с другой – на снижение закрутки в осевом вихре за счет обтекания лопастей КО [4]. В последнем случае КО создает не упор, а дополнительное сопротивление.

Применение КО такого типа представляет научный интерес в силу того, что современные методы проектирования ГВ позволяют достигать достаточно больших значений КПД и использование КО уже не дает значительного роста пропульсивных характеристик. Однако помимо увеличения пропульсивного коэффициента можно добиться улучшения кавитационных и, соответственно, акустических характеристик, поскольку кавитация осевого вихря является одним из источников шумоизлучения [3]. Еще одним преимуществом КО является отказ от неподвижных лопастных систем, таких как направляющий или спрямляющий аппараты, что позволит снизить нестационарные силы на движителе и уровни некавитационного шума [5].

Принципы проектирования крыльчатых обтекателей

Design principles for vane hub caps

При проектировании крыльчатого обтекателя шаговые углы цилиндрических сечений лопастей выбираются таким образом, чтобы обеспечивать снижение закрутки потока за лопастями ГВ, тем самым утилизируя ее энергию. Поскольку лопасти ГВ и лопасти КО вращаются с одинаковой частотой, между ними не образуется динамических сил, негативно влияющих на акустическое излучение движителя. Длина лопастей КО задается не более 70 % от длины лопастей ГВ, в этом случае обтекание

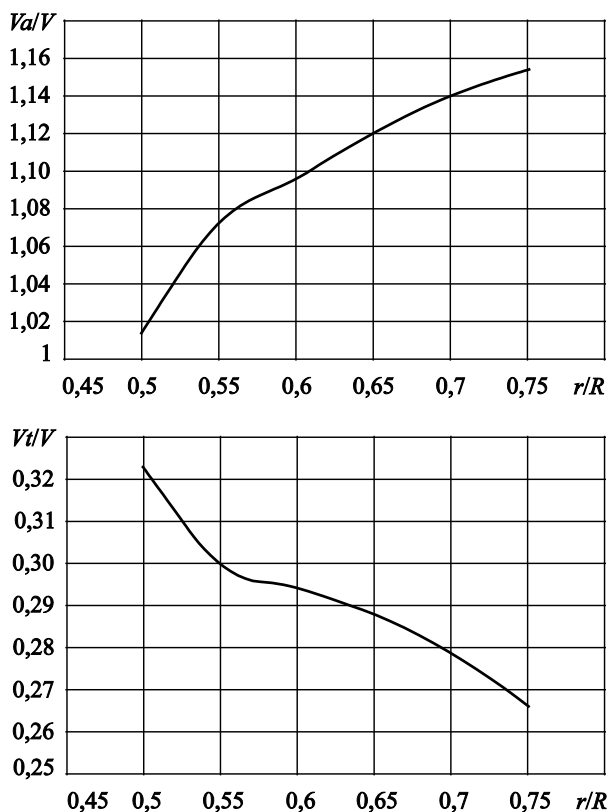


Рис. 2. Осевая (V_a) и тангенциальная (V_t) составляющие поля скорости за гребным винтом

Fig. 2. Axial (V_a) and tangential (V_t) components of wake field behind propeller

лопастей КО не вносит вклад в общее акустическое излучение движителя.

Проектирование лопастей КО выполнялось с использованием разработанного в Крыловском центре программного обеспечения, которое основано на теории плоских решеток [6, 7]. Число лопастей КО равно числу лопастей ГВ. Лопастей КО проектировались для заданного поля скоростей за ГВ, полученного в результате численного моделирования в вязкой несжимаемой жидкости. Осевая (V_a) и тангенциальная (V_t) составляющие поля скорости, отнесенные к средней скорости (V) в сечении за ГВ, представлены на рис. 2.

Для проведения экспериментальных исследований было спроектировано два варианта КО, обеспечивающие разные степени раскрутки потока на выходе из насадки. На рис. 3 приведено сравнение геометрических характеристик (распределение относительных шага и кривизны по радиусам ГВ) двух вариантов КО.

Помимо распределения шага и кривизны, остальные геометрические характеристики у КО аналогичны. Для заданного поля скоростей первый вариант КО по результатам проектирования обеспечивает практически полную раскрутку потока, следовательно, его эффективность с точки зрения увеличения пропульсивного коэффициента максимальна. Степень закрутки за вторым вариантом КО отлична от нуля, поток раскручивается не полностью, однако при этом расчетные кавитационные характеристики лучше, чем у первого варианта КО.

Для уменьшения риска возникновения щелевой кавитации проектирование для обоих вариантов КО выполнялось таким образом, чтобы обеспечить бесциркуляционное обтекание концевых сечений лопастей КО.

Проведение экспериментальных исследований

Experimental investigations

По геометрии, полученной в результате проектирования, были изготовлены пластиковые модели КО, которые представлены на рис. 4. Для определения влияния лопастей обтекателя на ступичный вихрь была изготовлена модель обтекателя той же формы без лопастей (гладкий обтекатель).

С изготовленными моделями обтекателей проведены гидродинамические, кавитационные и акустические испытания. При проведении эксперимента исследовалось два положения лопастей КО

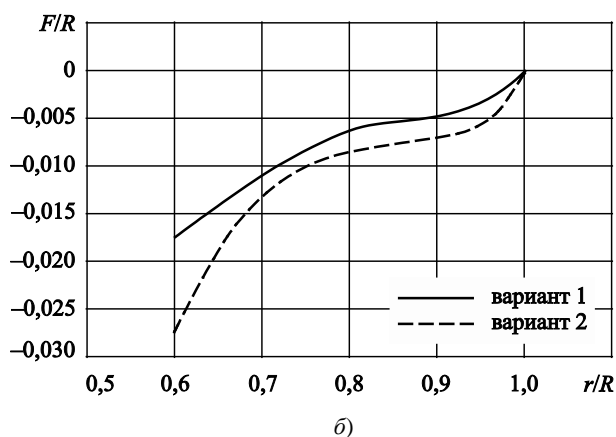
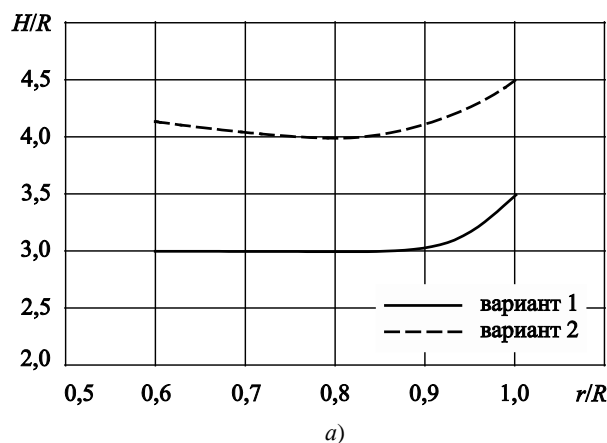


Рис. 3. Распределение относительных шага (H/R) (а) и кривизны (F/R) (б) для спроектированных крыльчатых обтекателей

Fig. 3. Distribution of relative pitch (H/R) (a) and camber (F/R) (b) for designed vane hub caps

относительно лопастей ГВ: в следе за лопастями ГВ и в следе между лопастями ГВ [8].

На рис. 5, 6 (см. вклейку) представлены результаты гидродинамических испытаний в виде распределения коэффициента упора (K_T), коэффициента момента (K_Q) и КПД (η) в зависимости от относительной поступи (J). Заметно значительное снижение коэффициентов упора и момента как для первого, так и для второго вариантов КО по сравнению с гладким обтекателем. В связи с тем, что первый вариант спроектирован на полную раскрутку потока, снижение K_T и K_Q у него больше и КПД при этом выше по сравнению с остальными обтекателями. У второго варианта КО КПД также увеличивается, что подтверждает эффективность применения КО с точки зрения гидродинамики. Однако при проектировании необходимо заранее учитывать

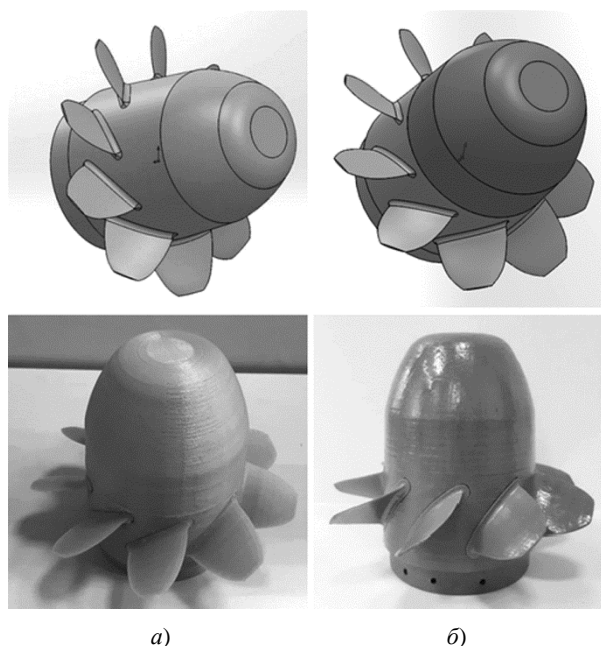


Рис. 4. Крыльчатый обтекатель:
а) вариант 1; б) вариант 2

Fig. 4. Vane hub cap: а) version 1; б) version 2

снижение коэффициентов упора и момента, вызванное наличием КО.

На рис. 7 (см. вклейку) представлены результаты кавитационных испытаний. Для каждого варианта КО выбрано оптимальное положение лопастей с точки зрения кавитации и акустики, поскольку изменение гидродинамических характеристик для разных положений лопастей КО мало. Заметно, что для второго варианта КО угол наклона ветвей кавитационной диаграммы изменяется, за счет чего она становится уже, при этом на рабочей поступи число кавитации уменьшается. У первого варианта КО изменение ветвей кавитационной корзины аналогично, однако из-за появления кромочной кавитации на нагнетающей стороне лопастей КО его кавитационные характеристики хуже, чем у гладкого обтекателя и второго варианта КО соответственно.

Изменение гидродинамических и кавитационных характеристик у исследуемых КО оказалось таким, как и предполагалось при проектировании. У первого варианта КО пропульсивные характеристики выше, при этом ухудшаются кавитационные, а у второго варианта КО лучшие кавитационные характеристики, но величина прироста КПД меньше, чем у первого варианта. Однако по результатам,

полученным при проведении эксперимента, наблюдается значительное снижение некавитационного акустического излучения. На рис. 8, 9 (см. вклейку) представлены результаты акустических измерений уровней кромочного шума (1/3-октавный спектр) для 14 и 20 об/с. В диапазоне частот 10 кГц и выше для первого варианта КО наблюдается снижение уровня акустического излучения на величину до 8 дБ, для второго варианта КО – до 4 дБ.

Заключение

Conclusion

Применение крыльчатого обтекателя за винтом в насадке позволило увеличить КПД движительно-го комплекса, снизить число кавитации на рабочей поступи и улучшить акустические характеристики. Удалось добиться снижения некавитационного акустического излучения, а именно кромочного шума. Увеличение КПД позволит при проектировании двигателя подводной лодки уменьшить его диаметр, что также положительно скажется на величине профильного и кромочного шума. Использование КО вместо направляющего или спрямляющего аппарата снижает амплитуды нестационарных сил, передаваемых на корпус через вал и воду.

На основании этого можно заключить, что применение КО является эффективным способом снижения акустического излучения в инфразвуковом и звуковом диапазонах.

Список использованной литературы

1. *Вишневский Л.И., Тогуняц А.Р.* Корабельные лопастные двигатели: Новые технические решения, результаты исследований. Санкт-Петербург : Судостроение, 2012. 250, [2] с.
2. *Togunjac A.R.* Hydrodynamic Reasons of Choosing the Two-Stage Blade System for New Multipurpose Propulsors // Морской вестник. 2002. № 1. С. 57–62.
3. *Лаврентьев В.М.* Судовые двигатели. Ленинград ; Москва : Мор. транспорт, 1949. 276 с.
4. *Brockett T.* Minimum Pressure Envelopes for Modified NACA-66 Sections with NACA $a=0.8$ Camber and Buships Type I and Type II Sections / David Taylor Model Basin. Bethesda, 1966. IV, 34, [2] p. (DTMB Technical Report ; № 1780).
5. *Левковский Ю.Л.* Шум гребных винтов. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2005. 184 с.
6. *Васильев А.В., Яковлев А.Ю.* Расчетный метод оценки гидродинамических характеристик осевых насосов // Проблемы мореходных качеств судов, корабельной гидромеханики и освоения шельфа : тезисы докладов

- науч.-техн. конф. «XL Крыловские чтения». Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2001. С. 69–71.
7. *Маринич Н.В.* Численная оптимизация водометных движителей подводных аппаратов // Морское подводное оружие. Перспективы развития : материалы Всероссийской научно-практ. конф. Санкт-Петербург, 2015. С. 72–77.
 8. *Bosscher J.* A Semi-Empirical Method to Predict Broadband Hull Pressure Fluctuations and Underwater Radiated Noise by Cavitation Tip Vortex // Proceedings of Fifth international Symposium on Marine Propulsors (SMA'17). Espoo, 2017. Vol. 1. P. 148–157.
-
- Сведения об авторах**
Багринцев Виктор Викторович, инженер ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 386-67-49. E-mail: bagrincev-victor@mail.ru.
Маринич Николай Владимирович, к.т.н., начальник лаборатории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 386-67-49. E-mail: n_marinich@ksrc.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9290-3041>.
Коваль Анастасия Александровна, начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 386-67-49. E-mail: zhomyaka@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6775-4120>.
- About the authors**
Viktor V. Bagrintsev, Engineer, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 386-67-49. E-mail: bagrincev-victor@mail.ru.
Nikolay V. Marinich, Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 386-67-49. E-mail: n_marinich@ksrc.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9290-3041>.
Anastasia A. Koval, Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 386-67-49. E-mail: zhomyaka@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6775-4120>.

References

1. *Vishnevsky L.I., Togunjac A.R.* Ship bladed propulsors: New technical solutions, results of investigations. St. Petersburg : Sudostroenie, 2012. 250, [2] p. (in Russian).
2. *Togunjac A.R.* Hydrodynamic Reasons of Choosing the Two-Stage Blade System for New Multipurpose Propulsors // Morskoi vestnik. 2002. Vol. 1. P. 57–62.
3. *Lavrentiev V.M.* Ship propulsors. Leningrad ; Moscow : Mor. Transport, 1949. 276 p. (in Russian).
4. *Brockett T.* Minimum Pressure Envelopes for Modified NACA-66 Sections with NACA $a = 0.8$ Camber and Buships Type I and Type II Sections / David Tailor Model Basin. Bethesda, 1966. IV, 34, [2] p. (DTMB Technical Report ; No. 1780).
5. *Levkovsky Yu.L.* Propeller Noise. St. Petersburg : Krylov Shipbuilding Research Institute, 2005. 184 p. (in Russian).
6. *Vasiliev A.V., Yakovlev A.Yu.* Calculation method for assessment of axial pump hydrodynamic characteristics // Problems of ship seakeeping qualities, ship hydro-mechanics and offshore engineering: abstracts of papers of science & engineering conference "XL Krylov Readings". St. Petersburg : Krylov Shipbuilding Research Institute, 2001. P. 69–71 (in Russian).
7. *Marinich N.V.* Numerical optimization of waterjet propulsors for underwater vehicles // Marine underwater

Поступила / Received: 25.02.22

Принята в печать / Accepted: 27.06.22

© Багринцев В.В., Маринич Н.В., Коваль А.А., 2022

Рис. 1. Гребной винт в насадке с крыльчатым обтекателем (выделен красным цветом)

Fig. 1. Ducted propeller with vane hub cap (highlighted in red)

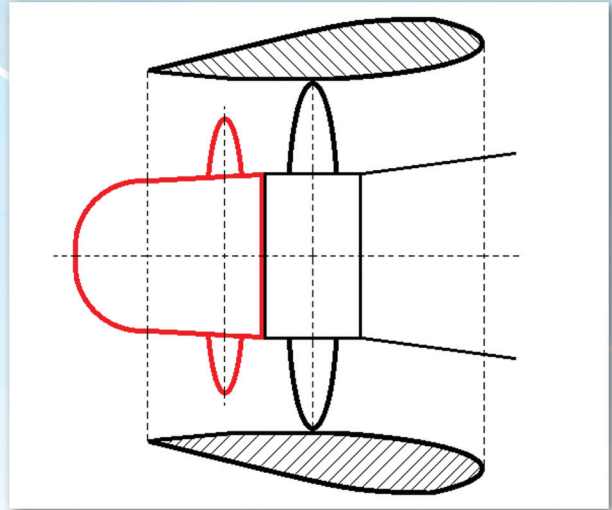


Рис. 5. Кривые действия первого варианта крыльчатого обтекателя в сравнении с гладким обтекателем

Fig. 5. Propeller curves of the 1st vane hub cap version as compared to smooth hub cap

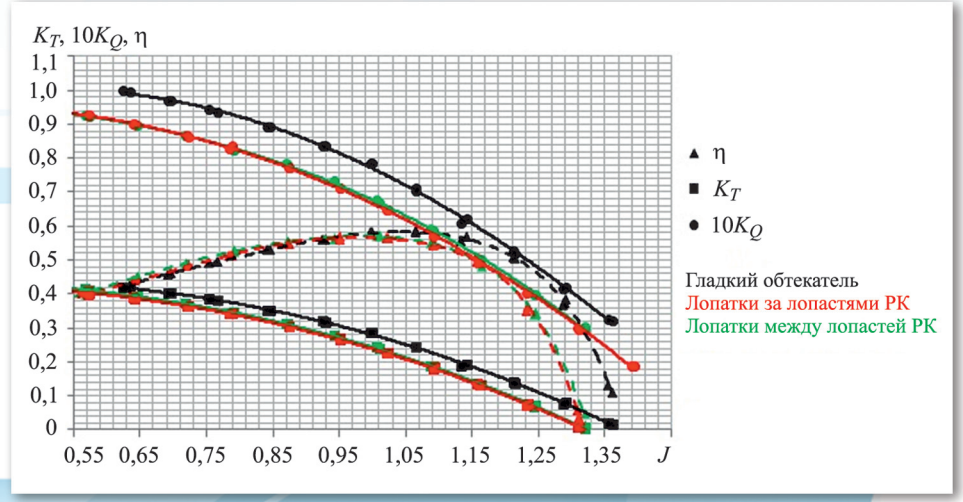
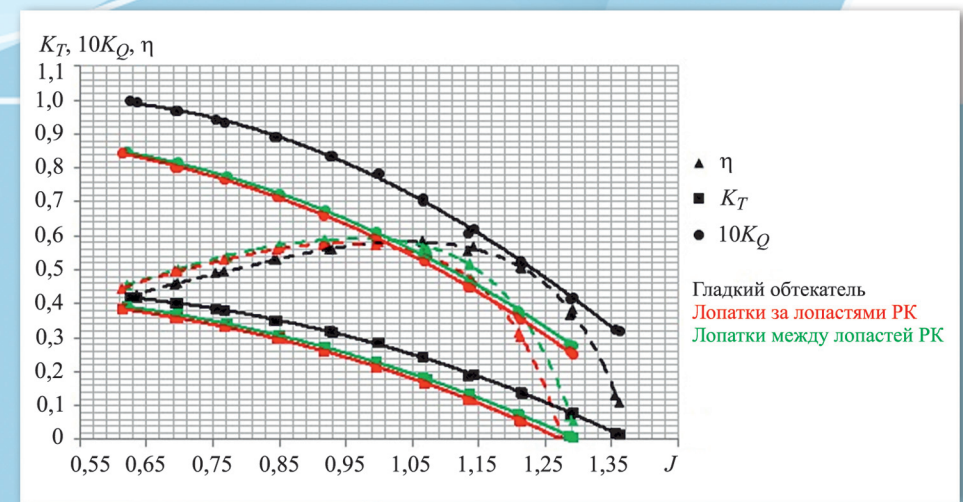


Рис. 6. Кривые действия второго варианта крыльчатого обтекателя в сравнении с гладким обтекателем

Fig. 6. Propeller curves of the 2nd vane hub cap version as compared to smooth hub cap



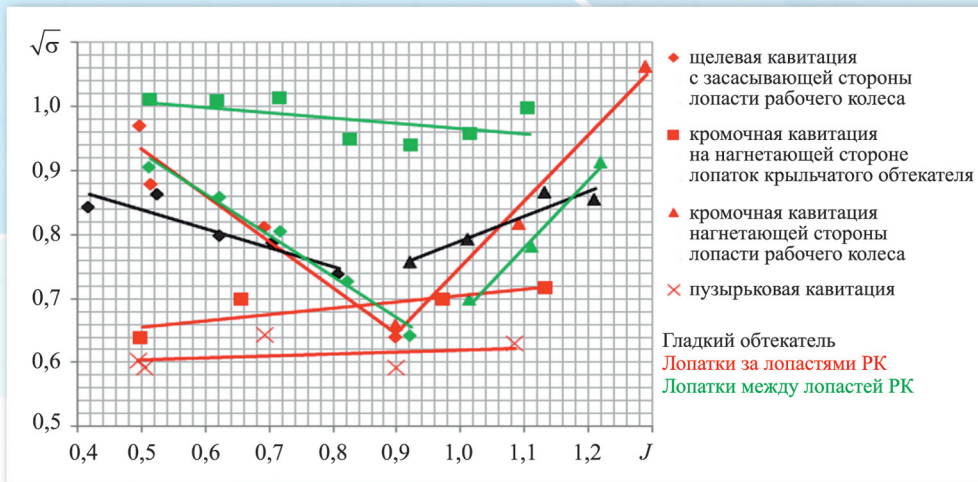


Рис. 7. Кавитационные диаграммы двух вариантов крыльчатого обтекателя в сравнении с гладким обтекателем

Fig. 7. Cavitation buckets of two vane hub cap versions as compared to smooth hub cap

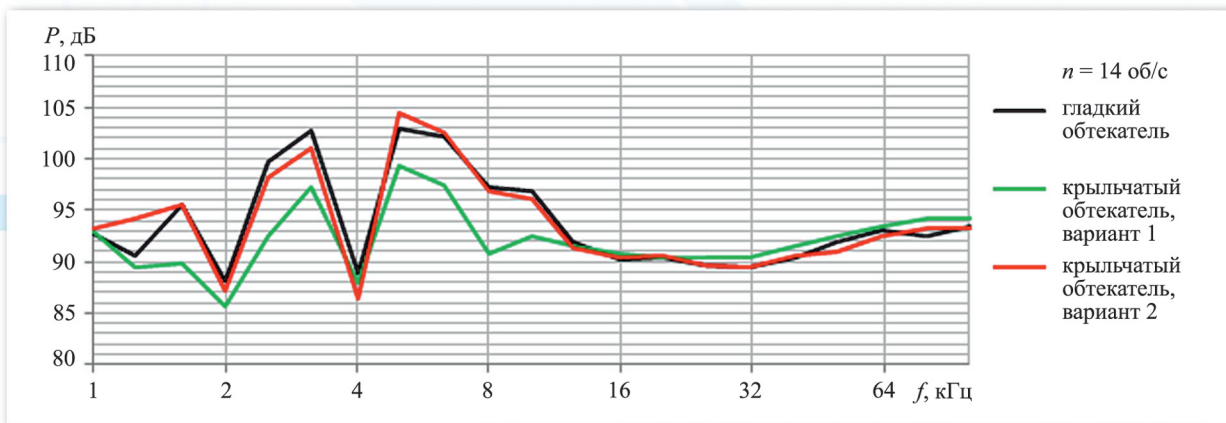


Рис. 8. Уровни кромочного шума движительного комплекса при 14 об/с

Fig. 8. Edge noise levels at 14 rps of propulsion system

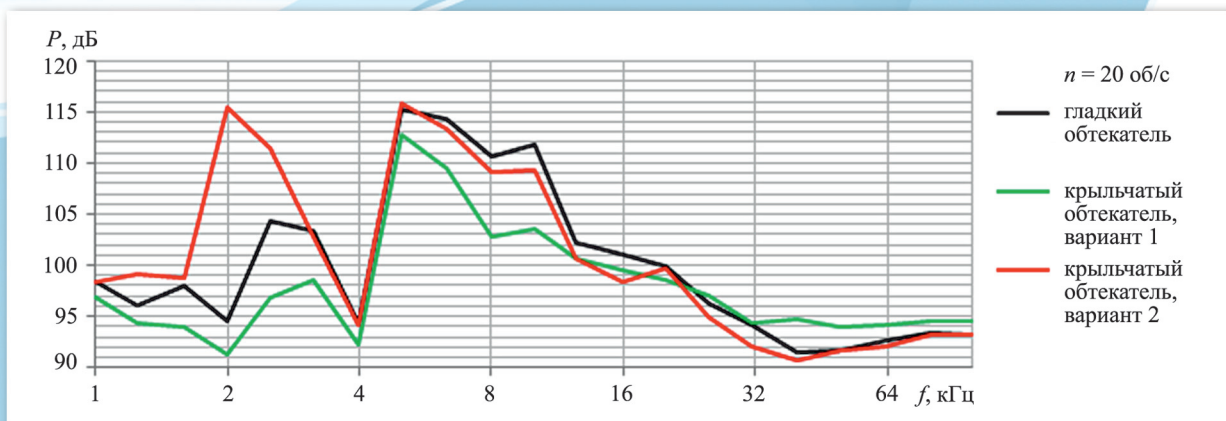


Рис. 9. Уровни кромочного шума движительного комплекса при 20 об/с

Fig. 9. Edge noise levels at 20 rps of propulsion system